



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 35 525 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
F 01 N 11/00

⑳ Aktenzeichen: 100 35 525.0
㉑ Anmeldetag: 21. 7. 2000
㉒ Offenlegungstag: 7. 2. 2002

DE 100 35 525 A 1

㉓ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉔ Vertreter:
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart

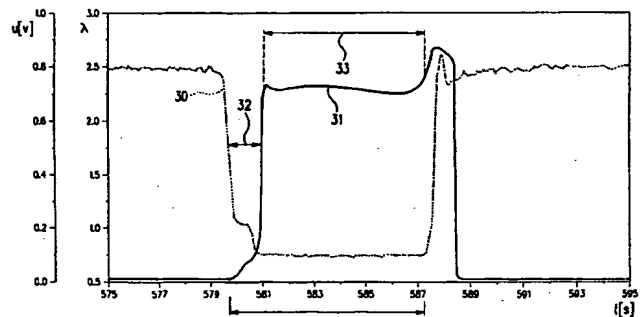
㉕ Erfinder:
Schnaibel, Eberhard, 71282 Hemmingen, DE;
Blumenstock, Andreas, 71638 Ludwigsburg, DE;
Winkler, Klaus, 71277 Rutesheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉖ Verfahren zum Betreiben eines Katalysators

㉗ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines in dem Abgas einer Brennkraftmaschine (1) angeordneten Katalysators (12), wobei die Zusammensetzung des Abgases durch Zugabe eines Reduktionsmittels, durch das eine Regeneration des Katalysators (12) gefördert wird, vor dem Katalysator (12) beeinflusst und die Zusammensetzung des Abgases mit Hilfe eines dem Katalysator (12) nachgeordneten Abgassensors (14) erfasst wird und ein Zeitverzug zwischen dem Beginn des Beeinflussens der Zusammensetzung des Abgases vor dem Katalysator (12) und dem Erfassen einer Änderung der Zusammensetzung nach dem Katalysator (12) ausgewertet wird. Um ein Ende einer Regenerationsphase (23, 33) des Katalysators (12) sicher und zuverlässig bestimmen zu können, wird vorgeschlagen, dass der Gradient eines Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) ausgewertet wird.



DE 100 35 525 A 1

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines in dem Abgas einer Brennkraftmaschine angeordneten Katalysators. Dabei wird die Zusammensetzung des Abgases durch Zugabe von Reduktionsmittel, durch das eine Regeneration des Katalysators gefördert wird, vor dem Katalysator beeinflusst. Die Zusammensetzung des Abgases wird mit Hilfe eines dem Katalysator nachgeordneten Abgassensors erfasst. Ein Zeitverzug zwischen dem Beginn des Beeinflussens der Zusammensetzung des Abgases vor dem Katalysator und dem Erfassen einer Änderung der Zusammensetzung nach dem Katalysator wird ausgewertet.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft außerdem ein Steuergerät für eine Brennkraftmaschine mit einem in dem Abgas der Brennkraftmaschine angeordneten Katalysator. Das Steuergerät beeinflusst die Zusammensetzung des Abgases durch Zugabe von Reduktionsmittel, durch das eine Regeneration des Katalysators gefördert wird, vor dem Katalysator. Das Steuergerät wertet einen Zeitverzug zwischen dem Beginn des Beeinflussens der Zusammensetzung des Abgases vor dem Katalysator und einem Erfassen einer Änderung der Zusammensetzung durch einen Abgassensor nach dem Katalysator aus.

[0003] Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein Steuerelement, insbesondere ein Read-Only-Memory oder ein Flash-Memory, für ein solches Steuergerät.

[0004] Schließlich betrifft die vorliegende Erfindung eine Brennkraftmaschine mit einem in dem Abgas der Brennkraftmaschine angeordneten Katalysator. Die Brennkraftmaschine weist ein Steuergerät und einen dem Katalysator nachgeordneten Abgassensor auf. Das Steuergerät beeinflusst die Zusammensetzung des Abgases durch Zugabe von Reduktionsmittel, durch das eine Regeneration des Katalysators gefördert wird, vor dem Katalysator. Der Abgassensor erfasst die Zusammensetzung des Abgases nach dem Katalysator. Das Steuergerät wertet einen Zeitverzug zwischen dem Beginn des Beeinflussens der Zusammensetzung des Abgases vor dem Katalysator und dem Erfassen einer Änderung der Zusammensetzung nach dem Katalysator aus.

Stand der Technik

[0005] In einem Betriebsbereich einer Brennkraftmaschine bei einem mageren Kraftstoff-Luft-Gemisch ($\lambda > 1$) kann ein herkömmlicher 3-Wege-Katalysator die Anforderungen an eine Stickoxidumsetzung nicht mehr erfüllen. Hier kommen NOx-Speicherkatalysatoren zum Einsatz, die in einem mageren Betrieb der Brennkraftmaschine imitierte Stickoxide speichern. Durch einen Betrieb der Brennkraftmaschine in einem fetten Bereich ($\lambda < 1$) werden gespeicherte Nitrate freigesetzt und zu Stickstoff reduziert. Die Verwendung eines NOx-Speicherkatalysators in diesem Zusammenhang ist bspw. aus der EP 0 560 991 B1 bekannt.

[0006] Gesetzgeberische Forderungen sehen eine On-Board-Diagnose von schadstoffemissionsrelevanten Kraftfahrzeugkomponenten wie Katalysatoren vor. In diesem Zusammenhang ist es z. B. aus der DE 24 44 334 bekannt, die Ausgangssignale einer vor und einer hinter dem Katalysator angeordneten sauerstoffempfindlichen Abgassonde zur Beurteilung eines 3-Wege-Katalysators heranzuziehen. Das bekannte Verfahren basiert auf der Sauerstoffspeicherfähigkeit eines funktionsfähigen 3-Wege-Katalysators. Die DE 24 44 334 offenbart in diesem Zusammenhang eine Ver-

änderung der Kraftstoff-Luft-Gemischzusammensetzung von $\lambda = 0,95$ (fettes, kraftstoffreiches Gemisch; Sauerstoffmangel) zu $\lambda = 1,05$ (mageres, kraftstoffarmes Gemisch; Sauerstoffüberschuss). Der vor dem Katalysator angeordnete Abgassensor reagiert auf die Veränderung der Kraftstoff-Luft-Gemischzusammensetzung nahezu verzögerungslos. Aufgrund des bei $\lambda = 0,95$ vorherrschenden Sauerstoffmangels im Abgas sind die Sauerstoffspeicherplätze des Katalysators zunächst nicht besetzt. Nach dem Umschalten auf Magerbetrieb (Sauerstoffüberschuss) vor dem Katalysator werden die Sauerstoffspeicherplätze sukzessive belegt. Hinter dem Katalysator herrscht daher nach der Veränderung der Gemischzusammensetzung zunächst weiter Sauerstoffmangel. Nach einer von der Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators abhängigen Zeitspanne tritt auch hinter dem Katalysator Sauerstoffüberschuss auf, der eine Änderung des Signals des hinteren Abgassensors auslöst. Der Zeitverzug, d. h. die Phasenverschiebung zwischen den Reaktionen beider Abgassensoren, wird mit abnehmender Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators kleiner und kann daher zur Beurteilung der Sauerstoffspeicherfähigkeit zur Diagnose des Katalysators verwendet werden.

[0007] Auf einen Katalysator, der neben einer Speicherfähigkeit für Sauerstoff auch eine Speicherfähigkeit für Stickoxide (NOx) besitzt, ist dieses bekannte Verfahren nicht ohne weiteres übertragbar. Derartige Katalysatoren können üblicherweise noch Stickoxide speichern, wenn ihre Sauerstoffspeicherfähigkeit bereits erschöpft ist und ein hinter dem Katalysator angeordneter Abgassensor einen Sauerstoffüberschuss anzeigt. Der Zeitverzug zwischen den Reaktionen beider Abgassensoren nach einer Veränderung der Gemischzusammensetzung von fettem auf mageres Gemisch liefert daher bei NOx-Speicherkatalysatoren keine Aussage über ihre NOx-Speicherfähigkeit.

[0008] Brennkraftmaschinen mit Benzin-Direkteinspritzung bieten den Vorteil verringerter Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen. Da diese Brennkraftmaschinen überwiegend mit magerem Kraftstoff-Luft-Gemisch betrieben werden, sind sie mit einem Stickoxid (NOx)-Speicherkatalysator versehen, der die in der mageren Gemischphase entstehenden NOx-Emissionen einspeichert und der durch Betreiben der Brennkraftmaschine mit fettem Gemisch von den eingespeicherten Stickoxiden regeneriert wird. Da benzindirekt einspritzende Brennkraftmaschinen auch bei $\lambda = 1$ betrieben werden, weisen die NOx-Speicherkatalysatoren in der Regel auch eine Speicherfähigkeit für Sauerstoff auf. Zur Speicherung von Sauerstoff kann bspw. ein herkömmlicher 3-Wege-Katalysator eingesetzt werden.

[0009] Da die Speicherfähigkeit eines Katalysators an Stickoxiden beschränkt ist, muss der Katalysator von Zeit zu Zeit regeneriert werden. Die Zeitpunkte für Beginn und Ende der Regeneration sind wichtig für die hinter dem Katalysator in die Umwelt ausgestoßenen Emissionen. Während eines Magerbetriebs einer Brennkraftmaschine wird sowohl der NOx-Speicherkatalysator mit Stickoxiden als auch der 3-Wege-Katalysator mit Sauerstoff gefüllt. Der Beginn der Regenerationsphase wird über ein NOx-Einspeichermodell festgelegt. Dieses modelliert die in den NOx-Speicherkatalysator eingebrachte Stickoxidmenge und modelliert so dessen NOx-Füllstand. Überschreitet die modellierte Größe eine vorgebbare Schwelle, wird eine Regenerationsphase (Betrieb der Brennkraftmaschine mit fettem Gemisch) eingeleitet.

[0010] Es hat sich gezeigt, dass bei einem Betrieb der Brennkraftmaschine mit fettem Gemisch zuerst der NOx-Speicherkatalysator entleert wird, bevor der Sauerstoffspeicher komplett geleert ist. Wenn so lange regeneriert wird, bis

der Sauerstoffspeicher vollständig entleert ist, entstehen dadurch hohe Kohlenwasserstoff (HC)-Emissionen, da das fette Gemisch nicht mehr durch den Sauerstoffspeicher abgepuffert wird. Aus diesem Grund ist es wichtig, den Katalysator lediglich so lange zu regenerieren, bis der NOx-Speicher geleert ist, der Sauerstoffspeicher sollte jedoch noch nicht geleert sein. Dies stellt eine kohlenwasserstoffoptimale Regenerierung dar.

[0011] Aus der DE 198 01 625 A1 ist es bekannt, die Regenerationsphase zu beenden, wenn ein Ausgangssignal, insbesondere eine Ausgangsspannung, des hinter dem Katalysator angeordneten Abgassensors einen vorgebbaren Schwellenwert überschreitet. Dann wird davon ausgegangen, dass der NOx-Speicher vollständig, der Sauerstoffspeicher jedoch noch nicht vollständig entleert ist. Dieses bekannte Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass das Ausgangssignal des Abgassensors gewissen Schwankungen unterworfen ist und deshalb den vorgegebenen Schwellenwert zu verschiedenen Zeitpunkten überschreiten kann. Die Schwankungen des Ausgangssignals haben ihre Ursache in Fertigungstoleranzen und Temperaturschwankungen des Abgassensors.

[0012] Der vorliegenden Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, das Ende einer Regenerationsphase des Katalysators möglichst sicher und zuverlässig feststellen zu können.

[0013] Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung ausgehend von dem Verfahren der eingangs genannten Art vor, dass der Gradient eines Ausgangssignals des Abgassensors ausgewertet wird.

Vorteile der Erfindung

[0014] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird also nicht das Überschreiten eines Schwellenwertes durch das Ausgangssignal des Abgassensors als Kriterium für das Ende der Regenerationsphase herangezogen, sondern vielmehr die Steigung des Ausgangssignals. Dadurch kann das Ende der Regenerationsphase wesentlich sicherer und zuverlässiger und vor allem unabhängig von Fertigungstoleranzen und Temperaturschwankungen des Abgassensors bestimmt werden. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann stets ein besonders emissionsarmer Betrieb der Brennkraftmaschine sichergestellt werden.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren kann bei herkömmlichen 3-Wege-Katalysatoren ebenso wie bei moderneren NOx-Speicherkatalysatoren mit oder ohne Speicherfähigkeit für Sauerstoff angewandt werden. Bei 3-Wege-Katalysatoren kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der geleerte Sauerstoffspeicher durch Auswerten einer charakteristischen Änderung des Gradienten des Ausgangssignals des Abgassensors detektiert werden. Bei einem NOx-Speicherkatalysator kann das Ende der NOx-Regenerationsphase bestimmt werden. Falls der NOx-Speicherkatalysator auch eine Speicherfähigkeit für Sauerstoff aufweist, kann zudem das Ende der Sauerstoffspeicher-Regenerationsphase bestimmt werden.

[0016] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass ein zur Speicherung von Stickoxiden fähiger Katalysator dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals des Abgassensors einen vorgebbaren ersten Grenzwert überschreitet. Zu Beginn der Regenerationsphase wird Reduktionsmittel zu dem Abgas hinzugegeben. Dazu kann die Brennkraftmaschine bspw. mit einem fetten Kraftstoff-Luft-Gemisch ($\lambda \leq 1$) betrieben werden. Durch die fette Gemischeinstellung wird in dem Abgas vor dem Katalysator ein Überschuss an Kohlenwasserstoffen (HC) und Kohlen-

monoxid (CO) erzeugt. Bei einer fetten Gemischeinstellung laufen die folgenden Prozesse ab: die Kohlenwasserstoffe und das Kohlenmonoxid reduzieren die gespeicherten Stickoxide. Der in Form von Stickoxiden gebundene und gespeicherte Sauerstoff wird zusammen mit dem übrigen im Katalysator gespeicherten Sauerstoff freigesetzt, so dass der Sauerstoffüberschuss hinter dem Katalysator zunächst aufrechterhalten bleibt. Somit bleibt auch das Ausgangssignal des nach dem Katalysator angeordneten Abgassensors zunächst auf einem dem Sauerstoffüberschuss entsprechenden Niveau. Sobald die in dem Katalysator gespeicherten Stickoxide regeneriert sind, reduziert sich jedoch der Sauerstoffanteil in dem Abgas hinter dem Katalysator und das Ausgangssignal des Abgassensors steigt entsprechend an. Wenn die Steigung des Ausgangssignals eine gewisse Steigung erreicht hat, d. h. wenn der Gradient des Ausgangssignals den ersten Grenzwert überschritten hat, wird der Katalysator als regeneriert gewertet.

[0017] Alternativ wird gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass ein zur Speicherung von Stickoxiden fähiger Katalysator dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals des Abgassensors zunächst einen vorgebbaren ersten Grenzwert überschreitet und dann einen vorgebbaren zweiten Grenzwert unterschreitet. Das Ausgangssignal des hinter dem Katalysator angeordneten Abgassensors steigt gegen Ende der Stickoxid-Regenerationsphase relativ steil an, um dann während der Sauerstoff-Regenerationsphase auf einem relativ konstanten Niveau zu verharren. Gemäß dieser alternativen Weiterbildung wird also zunächst der starke Anstieg des Ausgangssignals (Gradient des Ausgangssignals überschreitet den ersten Grenzwert) und dann der Übergang auf das im Wesentlichen konstante Niveau (Gradient des Ausgangssignals unterschreitet den zweiten Grenzwert) ermittelt.

[0018] Gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass ein zur Speicherung von Sauerstoff fähiger Katalysator dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals des Abgassensors einen vorgebbaren dritten Grenzwert überschreitet. Gegen Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase steigt das Ausgangssignal des hinter dem Katalysator angeordneten Abgassensors noch einmal von dem im Wesentlichen konstanten Niveau relativ stark an. Das hat seine Ursache in einem Sauerstoffmangel hinter dem Katalysator gegen Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase. Dieser relativ starke Anstieg des Ausgangssignals (Gradient des Ausgangssignals überschreitet den dritten Grenzwert) wird ermittelt und als ein Zeichen für ein Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase gewertet.

[0019] Falls der Katalysator neben seiner Fähigkeit zur Speicherung von Sauerstoff auch zur Speicherung von Stickoxiden fähig ist, kann durch Auswertung des Gradienten des Ausgangssignals zunächst das Ende der Stickoxid-Regenerationsphase und dann das Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase ermittelt werden. Bei einem lediglich zur Speicherung von Sauerstoff fähigen Katalysator entfällt die Diagnose der Stickoxid-Regenerationsphase. Auch bei einem solchen reinen Sauerstoffspeicher bietet das erfindungsgemäße Verfahren jedoch entscheidende Vorteile, da durch Auswertung des Gradienten des Ausgangssignals das Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase wesentlich sicherer und zuverlässiger erkannt werden kann.

[0020] Alternativ wird gemäß einer anderen vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vorgeschlagen, dass ein zur Speicherung von Sauerstoff fähiger Katalysator dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals des Abgassensors zunächst einen vorgeb-

baren dritten Grenzwert überschreitet und dann einen vor-
gebbaren vierten Grenzwert unterschreitet. Das Ausgangssig-
nal des hinter dem Katalysator angeordneten Abgassensors
steigt gegen Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase relativ
steil an, um dann nach Erreichen eines Maximums wieder
relativ steil abzufallen. Dieser Übergang von dem relativ
steilen Anstieg (Gradient des Ausgangssignals überschreitet
dritten Grenzwert) in das Maximum wird gemäß dieser al-
ternativen Weiterbildung detektiert. Beim Übergang in das
Maximum verringert sich die Steigung des Ausgangssig-
nals. Wenn die Steigung des Ausgangssignals den vierten
Grenzwert unterschreitet, wird dies als ein Zeichen für das
Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase gewertet.

[0021] Die Zugabe des Reduktionsmittels zu dem Abgas
kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Gemäß einer be-
vorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung
wird vorgeschlagen, dass die Brennkraftmaschine zur Zug-
abe des Reduktionsmittels zu dem Abgas mit einem fetten
Kraftstoff-Luft-Gemisch betrieben wird. Vorteilhafterweise
werden als Reduktionsmittel Kohlenwasserstoffe (HC) und/
oder Kohlenmonoxid (CO) zu dem Abgas gegeben.

[0022] Alternativ wird gemäß einer weiteren bevorzugten
Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vorgeschla-
gen, dass als Reduktionsmittel Harnstoff zu dem Abgas ge-
geben wird. Dabei wird zur Reduktion des Stickoxids zu
Sauerstoff und Stickstoff Amoniak aus dem Harnstoff ver-
wendet. Der Amoniak kann per Hydrolyse aus einer Harn-
stofflösung gewonnen werden.

[0023] Von besonderer Bedeutung ist die Realisierung des
erfindungsgemäßen Verfahrens in Form eines Steuerele-
ments, das für ein Steuergerät einer Brennkraftmaschine ins-
besondere eines Kraftfahrzeugs vorgesehen ist. Dabei ist auf
dem Steuerelement ein Programm abgespeichert, das auf ei-
nem Rechengert, insbesondere auf einem Mikroprozessor,
abläuffähig und zur Ausführung des erfindungsgemäßen
Verfahrens geeignet ist. In diesem Fall wird also die Erfin-
dung durch ein auf dem Steuerelement abgespeichertes Pro-
gramm realisiert, so dass dieses mit dem Programm verse-
hene Steuerelement in gleicher Weise die Erfindung darstellt
wie das Verfahren, zu dessen Ausführung das Programm ge-
eignet ist. Als Steuerelement kann insbesondere ein elektri-
sches Speichermedium zur Anwendung kommen, bspw. ein
Read-Only-Memory oder ein Flash-Memory.

[0024] Zur Lösung der Aufgabe der vorliegenden Erfin-
dung wird ausgehend von dem Steuergerät der eingangs ge-
nannten Art des Weiteren vorgeschlagen, dass das Steuerge-
rät Mittel zum Auswerten des Gradienten eines Ausgangssig-
nals des Abgassensors aufweist.

[0025] Schließlich wird zur Lösung der Aufgabe der vor-
liegenden Erfindung ausgehend von der Brennkraftma-
schin der eingangs genannten Art vorgeschlagen, dass die
Brennkraftmaschine Mittel zum Auswerten des Gradienten
eines Ausgangssignals des Abgassensors aufweist.

[0026] Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der vor-
liegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass der Abgas-
sensor als ein sauerstoffempfindlicher Sensor ausgebildet
ist. Ein solcher Abgassensor mißt den im Abgas enthaltenen
Sauerstoffanteil und gibt eine entsprechende Ausgangsspan-
nung als Ausgangssignal aus. Ein solcher Sensor ist bspw.
ein an sich aus dem Stand der Technik bekannter Lambda-
Sensor. Der Abgassensor ist vorteilhafterweise als ein Zwei-
punkt-Sensor ausgebildet.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der
vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass der Kata-
lysator zur Speicherung von Sauerstoff fähig ist. Ein solcher
Katalysator ist bspw. ein herkömmlicher 3-Wege-Katalysa-
tor, wie er an sich aus dem Stand der Technik bekannt ist.
Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass der Katalysator al-

ternativ oder zusätzlich zu seiner Fähigkeit, Sauerstoff zu
speichern, zur Speicherung von Stickoxid fähig ist.

Zeichnung

[0028] Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten
und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgen-
den Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfin-
dung, die in der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden
alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich
oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfin-
dung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Pa-
tentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhän-
gig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Be-
schreibung bzw. in der Zeichnung. Es zeigen:

[0029] Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer er-
findungsgemäßen Brennkraftmaschine gemäß einer bevor-
zugten Ausführungsform; und

[0030] Fig. 2 die Verläufe verschiedener Signale während
der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0031] In Fig. 1 ist eine direkteinspritzende Brennkraft-
maschine 1 eines Kraftfahrzeugs dargestellt, bei der ein Kol-
ben 2 in einem Zylinder 3 hin- und herbewegbar ist. Der Zy-
linder 3 ist mit einem Brennraum 4 versehen, der u. a. durch
den Kolben 2, ein Einlassventil 5 und ein Auslassventil 6 be-
grenzt ist. Mit dem Einlassventil 5 ist ein Ansaugrohr 7 und
mit dem Auslassventil 6 ein Abgasrohr 8 gekoppelt.

[0032] Im Bereich des Einlassventils 5 und des Auslass-
ventils 6 ragen ein Kraftstoffeinspritzventil 9 und eine
Zündkerze 10 in den Brennraum 4. Über das Einspritzventil
9 kann Kraftstoff in den Brennraum 4 eingespritzt werden.
Mit der Zündkerze 10 kann der Kraftstoff in dem Brenn-
raum 4 entzündet werden.

[0033] In dem Ansaugrohr 7 ist eine drehbare Drossel-
klappe 11 untergebracht, über die dem Ansaugrohr 7 Luft
zuführbar ist. Die Menge der zugeführten Luft ist abhängig
von der Winkelstellung der Drosselklappe 11. In dem Ab-
gasrohr 8 ist ein Katalysator 12 untergebracht, der die durch
die Verbrennung des Kraftstoffs entstehenden Abgase rei-
nigt. Bei dem Katalysator 12 handelt es sich um einen Stick-
oxid (NOx)-Speicherkatalysator 12', der mit einem 3-Wege-
Katalysator 12" als Sauerstoffspeicher gekoppelt ist.

[0034] Ein Steuergerät 18 ist von Eingangssignalen 19 be-
aufschlagt, die mittels Sensoren gemessene Betriebsgrößen
der Brennkraftmaschine 1 darstellen. Das Steuergerät 18 er-
zeugt Ausgangssignale 20, mit denen über Aktoren bzw.
Steller das Verhalten der Brennkraftmaschine 1 beeinflusst
werden kann. Unter anderem ist das Steuergerät 18 dazu
vorgesehen, die Betriebsgrößen der Brennkraftmaschine 1
zu steuern und/oder zu regeln. Zu diesem Zweck ist das
Steuergerät 18 mit einem Mikroprozessor versehen, der in
einem Speichermedium, insbesondere in einem Flash-Me-
mory, ein Programm abgespeichert hat, das dazu geeignet
ist, die genannte Steuerung und/oder Regelung durchzufüh-
ren.

[0035] In einer ersten Betriebsart, einem sogenannten Ho-
mogenbetrieb der Brennkraftmaschine 1, wird die Drossel-
klappe 11 in Abhängigkeit von dem erwünschten Drehmo-
ment teilweise geöffnet bzw. geschlossen. Der Kraftstoff
wird von dem Einspritzventil 9 während einer durch den
Kolben 2 hervorgerufenen Ansaugphase in den Brennraum
4 eingespritzt. Durch die gleichzeitig über die Drossel-
klappe 11 angesaugte Luft wird der eingespritzte Kraftstoff
verwirbelt und damit in dem Brennraum 4 im Wesentlichen
gleichmäßig verteilt. Danach wird das Kraftstoff-Luft-Ge-

misch während der Verdichtungsphase verdichtet, um dann von der Zündkerze 10 entzündet zu werden. Durch die Ausdehnung des entzündeten Kraftstoffs wird der Kolben 2 angetrieben. Das entstehende Drehmoment hängt im Homogenbetrieb u. a. von der Stellung der Drosselklappe 11 ab. Im Hinblick auf eine geringe Schadstoffentwicklung wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch möglichst auf $\lambda = 1$ eingestellt.

[0036] In einer zweiten Betriebsart, einem sogenannten Schichtbetrieb der Brennkraftmaschine 1, wird die Drosselklappe 11 weit geöffnet. Der Kraftstoff wird von dem Einspritzventil 9 während einer durch den Kolben 2 hervorgerufenen Verdichtungsphase in den Brennraum 4 eingespritzt, und zwar örtlich in die unmittelbare Umgebung der Zündkerze 10 sowie zeitlich in geeignetem Abstand vor dem Zündzeitpunkt. Dann wird mit Hilfe der Zündkerze 10 der Kraftstoff entzündet, so dass der Kolben 2 in der nunmehr folgenden Arbeitsphase durch die Ausdehnung des entzündeten Kraftstoffs angetrieben wird. Das entstehende Drehmoment hängt im Schichtbetrieb weitgehend von der eingespritzten Kraftstoffmasse ab. Im Wesentlichen ist der Schichtbetrieb für den Leerlaufbetrieb und den Teillastbetrieb der Brennkraftmaschine 1 vorgesehen. Im Schichtbetrieb ist λ üblicherweise > 1 .

[0037] Während des Schichtbetriebs wird der Speicherkatalysator 12' mit Stickoxiden und der 3-Wege-Katalysator 12" mit Sauerstoff beladen. In einer Regenerationsphase werden der Speicherkatalysator 12' und der 3-Wege-Katalysator 12" wieder entladen, so dass sie in einem nachfolgenden Schichtbetrieb erneut Stickoxide bzw. Sauerstoff aufnehmen können. Während der Regenerationsphase wird vor dem Katalysator 12 ein Reduktionsmittel in das Abgas gegeben. Als Reduktionsmittel können bspw. Kohlenwasserstoffe (HC), Kohlenmonoxid (CO) oder Harnstoff verwendet werden. Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid werden im Abgas durch eine fette Gemischeinstellung (Betrieb der Brennkraftmaschine im Homogenbetrieb) erzeugt. Harnstoff kann aus einem Vorratsbehälter dem Abgas gesteuert zudosiert werden. Während der Regenerationsphase des Katalysators 12 laufen folgende Prozesse ab: Das Reduktionsmittel reduziert die gespeicherten Stickoxide zu Stickstoff und Sauerstoff. Diese Stoffe treten aus dem Katalysator 12 heraus, so dass sich hinter dem Katalysator 12 während der Regenerationsphase ein Sauerstoffüberschuss ergibt.

[0038] Vor dem Katalysator 12 ist ein erster Abgassensor 13 und nach dem Katalysator 12 ein zweiter Abgassensor 14 in dem Abgasrohr 8 angeordnet. Als hinter dem Katalysator 12 angeordneter Abgassensor 14 kann eine übliche, sauerstoffempfindliche Lambdasonde oder ein Kohlenwasserstoff-Sensor eingesetzt werden. Der hintere Abgassensor 14 kann als ein Zweipunkt-Sensor ausgebildet sein.

[0039] Nach dem Umschalten auf Sauerstoffmangel (Betrieb der Brennkraftmaschine 1 mit fettem Gemisch) vor dem Katalysator 12 zu Beginn der Regenerationsphase reagiert der vor dem Katalysator 12 angeordnete Abgassensor 13 praktisch verzögerungslos. Aufgrund des während des Schichtbetriebs vorherrschenden Sauerstoffüberschusses in dem Abgas sind die Sauerstoffspeicherplätze des Katalysators 12 zunächst nahezu alle besetzt. Nach dem Umschalten auf Sauerstoffmangel vor dem Katalysator 12 zu Beginn der Regenerationsphase werden die Sauerstoffspeicherplätze sukzessive von Sauerstoff befreit und der Sauerstoff tritt aus dem Katalysator 12 heraus. Hinter dem Katalysator 12 herrscht daher nach dem Umschalten in die Regenerationsphase zunächst weiter Sauerstoffüberschuss. Nach einer von der Sauerstoffspeicherfähigkeit des Katalysators 12 abhängigen Zeitspanne tritt auch hinter dem Katalysator 12 Sauer-

stoffmangel auf, der eine Änderung des Ausgangssignals des hinteren Abgassensors 14 bewirkt.

[0040] Hinter dem Katalysator 12 tritt erst dann Sauerstoffmangel auf, wenn sowohl die Stickoxidspeicherplätze in dem Stickoxid-Speicherkatalysator 12' als auch die Sauerstoffspeicherplätze in dem 3-Wege-Katalysator leer sind. Wird der Katalysator 12 bspw. durch ein Betrieb der Brennkraftmaschine 1 mit einem mageren Gemisch ($\lambda > 1$) zunächst mit Sauerstoff und Stickoxiden gefüllt und werden dann zur Regeneration des Katalysators 12 Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid im Abgas durch eine fette Gemischeinstellung ($\lambda < 1$) erzeugt, laufen folgende Prozesse ab: die Kohlenwasserstoffe und das Kohlenmonoxid reduzieren die gespeicherten Stickoxide zu Stickstoff und Sauerstoff. Der in Form von Stickoxiden gebundene und gespeicherte Sauerstoff wird zusammen mit dem übrigen im Katalysator 12 gespeicherten Sauerstoff freigesetzt, so dass der Sauerstoffüberschuss hinter dem Katalysator 12 zunächst aufrechterhalten bleibt.

[0041] In Fig. 2 ist die Kraftstoff-Luft-Gemischzusammensetzung vor dem Katalysator 12 anhand des Verlaufs des entsprechenden λ -Wertes 30 vor dem Katalysator 12 veranschaulicht. Ebenso ist in Fig. 2 der Verlauf des Ausgangssignals U des hinteren Abgassensors 14 dargestellt und mit dem Bezugszeichen 31 bezeichnet. Zu Beginn des in Fig. 2 dargestellten Signalverlaufs wird die Brennkraftmaschine 1 mit einer mageren Gemischzusammensetzung ($\lambda \sim 2,5$) betrieben. Wie oben bereits beschrieben, herrscht dabei hinter dem Katalysator 12 ein Sauerstoffüberschuss. Das Ausgangssignal 31 des hinteren Abgassensors 14 liegt etwa auf 0 Volt. Etwa zu dem Zeitpunkt $t = 579$ sek. wird der Kraftstoffanteil in dem Kraftstoff-Luft-Gemisch erhöht und die Brennkraftmaschine 1 mit einem fetten Gemisch betrieben. Der λ -Wert 30 vor dem Katalysator 12 sinkt auf einen Wert von etwa 0,75. Das Ausgangssignal 31 des hinteren Abgassensors 14 bleibt zunächst auf einem niedrigen Wert.

[0042] Erst nachdem die in dem Stickoxid-Speicherkatalysator 12' eingelagerten Stickoxide zu Stickstoff reduziert sind, also erst wenn die Regenerationsphase des Stickoxid-Speicherkatalysators 12' beendet ist, verringert sich der Sauerstoffanteil in dem Abgas hinter dem Katalysator 12. Das resultiert in einem deutlich sichtbaren Anstieg des Ausgangssignals 31 des Abgassensors 14 von etwa 0 Volt auf ein im Wesentlichen konstantes Niveau bei etwa 0,7 Volt. Die Regenerationsphase des Stickoxid-Speicherkatalysators 12' ist in Fig. 2 mit dem Bezugszeichen 32 bezeichnet.

[0043] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird auf das Ende der Regenerationsphase 32 des Stickoxid-Speicherkatalysators 12' geschlossen, wenn der Gradient des Ausgangssignals 31 des Abgassensors 14 einen vorgebbaren Grenzwert überschreitet, wenn also die Steigung des Ausgangssignals 31 einen bestimmten Wert erreicht hat. Alternativ kann auf das Ende der Regenerationsphase 32 geschlossen werden, wenn der Gradient des Ausgangssignals 31 des Abgassensors 14 zunächst einen vorgebbaren ersten Grenzwert überschreitet und dann einen vorgebbaren zweiten Grenzwert unterschreitet, die Steigung des Ausgangssignals 31 also wieder unterhalb eines bestimmten Wertes fällt. Gemäß dieser alternativen Ausbildungsform kann ein Übergang des Verlaufs des Ausgangssignals 31 von dem relativ steilen Anstieg zu einem im Wesentlichen konstanten Niveau während der Sauerstoff-Regenerationsphase 33 detektiert (ein Wendepunkt des Verlaufs des Ausgangssignals 31) werden.

[0044] Gegen Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase 33 fällt der Sauerstoffanteil in dem Abgas nach dem Katalysator 12 weiter ab, was zu einem weiteren Anstieg des Aus-

gangssignals 31 des Abgassensors 14 führt. Zur Detektion des Endes der Sauerstoff-Regenerationsphase 33 wird dieser Anstieg des Ausgangssignals 31 ermittelt. Insbesondere wird auf ein Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase geschlossen, wenn der Gradient des Ausgangssignals 31 des Abgassensors 14 einen vorgebbaren dritten Grenzwert überschreitet, wenn der Verlauf des Ausgangssignals 31 also eine bestimmte Steigung überschreitet. Alternativ kann auf ein Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase 33 geschlossen werden, wenn der Gradient des Ausgangssignals 31 des Abgassensors 14 zunächst einen vorgebbaren dritten Grenzwert überschreitet und dann einen vorgebbaren vierten Grenzwert wieder unterschreitet.

[0045] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann in einem Stickoxid-Speicherkatalysator 12' ein Ende der Stickoxid-Regenerationsphase und in einem 3-Wege-Katalysator das Ende einer Sauerstoff-Regenerationsphase 33 sicher und zuverlässig und vor allem unabhängig von Schwankungen des Ausgangssignals 31 des Abgassensors 14 aufgrund von Fertigungstoleranzen oder Temperaturschwankungen ermittelt werden. Bei einem Katalysator 12, der sowohl zur Speicherung von Sauerstoff als auch zur Speicherung von Stickoxid fähig ist, kann durch Auswerten des Gradienten des Ausgangssignals 31 zunächst das Ende der Stickoxid-Regenerationsphase 32 und dann das Ende der Sauerstoff-Regenerationsphase 33 ermittelt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines in dem Abgas einer Brennkraftmaschine (1) angeordneten Katalysators (12), wobei die Zusammensetzung des Abgases durch Zugabe von Reduktionsmittel, durch das eine Regeneration des Katalysators (12) gefördert wird, vor dem Katalysator (12) beeinflusst und die Zusammensetzung des Abgases mit Hilfe eines dem Katalysator (12) nachgeordneten Abgassensors (14) erfasst wird und ein Zeitverzug zwischen dem Beginn des Beeinflussens der Zusammensetzung des Abgases vor dem Katalysator (12) und dem Erfassen einer Änderung der Zusammensetzung nach dem Katalysator (12) ausgewertet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gradient eines Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) ausgewertet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein zur Speicherung von Stickoxiden (NOx) fähiger Katalysator (12') dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) einen vorgebbaren ersten Grenzwert überschreitet.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein zur Speicherung von Stickoxiden (NOx) fähiger Katalysator (12') dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) zunächst einen vorgebbaren ersten Grenzwert überschreitet und dann einen vorgebbaren zweiten Grenzwert unterschreitet.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein zur Speicherung von Sauerstoff fähiger Katalysator (12'') dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) einen vorgebbaren dritten Grenzwert überschreitet.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein zur Speicherung von Sauerstoff fähiger Katalysator (12'') dann als regeneriert gewertet wird, wenn der Gradient des Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) zunächst einen vor-

gebbaren dritten Grenzwert überschreitet und dann einen vorgebbaren vierten Grenzwert unterschreitet.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkraftmaschine (1) zur Zugabe des Reduktionsmittels zu dem Abgas mit einem fetten Kraftstoff/Luft-Gemisch betrieben wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Reduktionsmittel Kohlenwasserstoffe (HC) und/oder Kohlenmonoxid (CO) zu dem Abgas gegeben werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Reduktionsmittel Harnstoff zu dem Abgas gegeben wird.

9. Steuerelement, insbesondere Read-Only-Memory oder Flash-Memory, für ein Steuergerät (18) einer Brennkraftmaschine (1) insbesondere eines Kraftfahrzeugs, auf dem ein Programm abgespeichert ist, das auf einem Rechenggerät, insbesondere auf einem Mikroprozessor, ablauffähig und zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche geeignet ist.

10. Steuergerät (18) für eine Brennkraftmaschine (1) mit einem in dem Abgas der Brennkraftmaschine (1) angeordneten Katalysator (12), wobei das Steuergerät (18) die Zusammensetzung des Abgases durch Zugabe von Reduktionsmittel, durch das eine Regeneration des Katalysators (12) gefördert wird, vor dem Katalysator (12) beeinflusst, und das Steuergerät (18) einen Zeitverzug zwischen dem Beginn des Beeinflussens der Zusammensetzung des Abgases vor dem Katalysator (12) und einem Erfassen einer Änderung der Zusammensetzung durch einen Abgassensor (14) nach dem Katalysator (12) auswertet, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät (18) Mittel zum Auswerten des Gradienten eines Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) aufweist.

11. Brennkraftmaschine (1) mit einem in dem Abgas der Brennkraftmaschine (1) angeordneten Katalysator (12), wobei die Brennkraftmaschine (1) ein Steuergerät (18) und einen dem Katalysator (12) nachgeordneten Abgassensor (14) aufweist, wobei das Steuergerät (18) die Zusammensetzung des Abgases durch Zugabe von Reduktionsmittel, durch das eine Regeneration des Katalysators (12) gefördert wird, vor dem Katalysator (12) beeinflusst, der Abgassensor (14) die Zusammensetzung des Abgases nach dem Katalysator (12) erfasst und das Steuergerät (18) einen Zeitverzug zwischen dem Beginn des Beeinflussens der Zusammensetzung des Abgases vor dem Katalysator (12) und dem Erfassen einer Änderung der Zusammensetzung nach dem Katalysator (12) auswertet, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkraftmaschine (1) Mittel zum Auswerten des Gradienten eines Ausgangssignals (31) des Abgassensors (14) aufweist.

12. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgassensor (14) als ein sauerstoffempfindlicher Sensor ausgebildet ist.

13. Brennkraftmaschine (1) nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Abgassensor (14) als ein Zweipunkt-Sensor ausgebildet ist.

14. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysator (12'') zur Speicherung von Sauerstoff fähig ist.

15. Brennkraftmaschine (1) nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Katalysator (12') zur Speicherung von Stickoxid (NOx) fähig ist.

hig ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

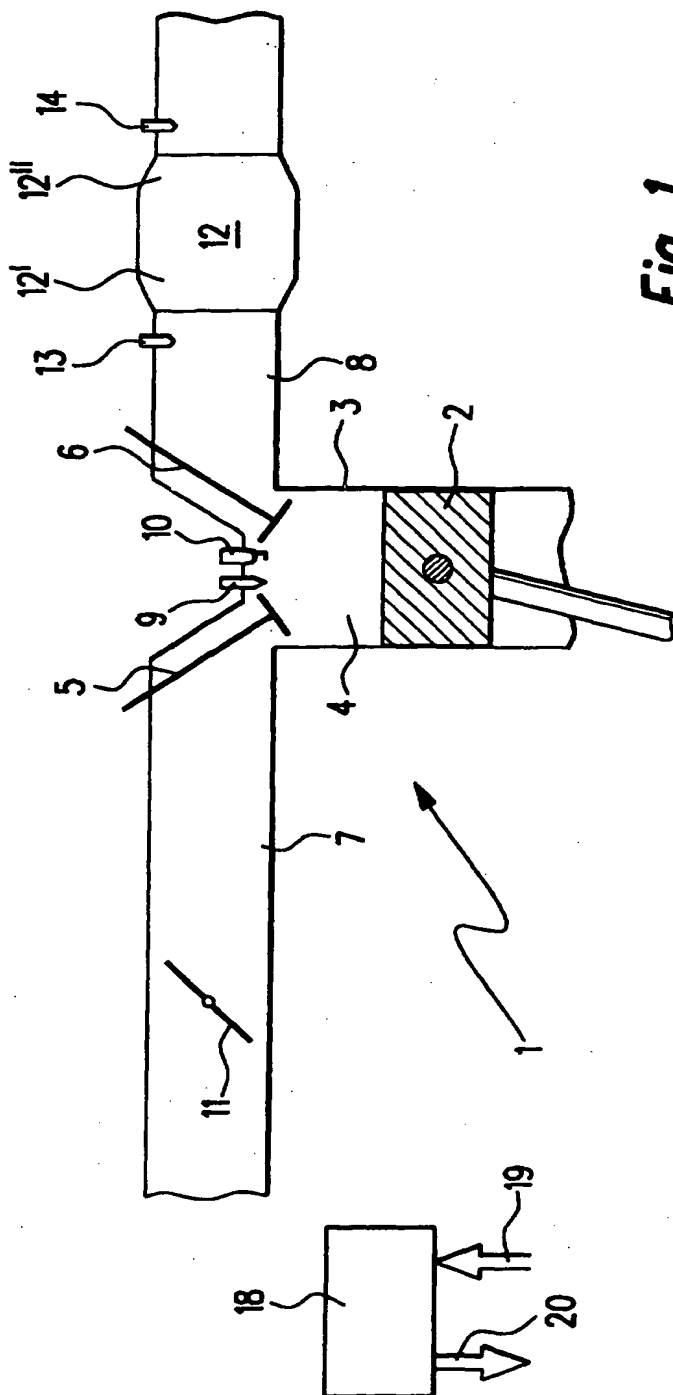


Fig. 1

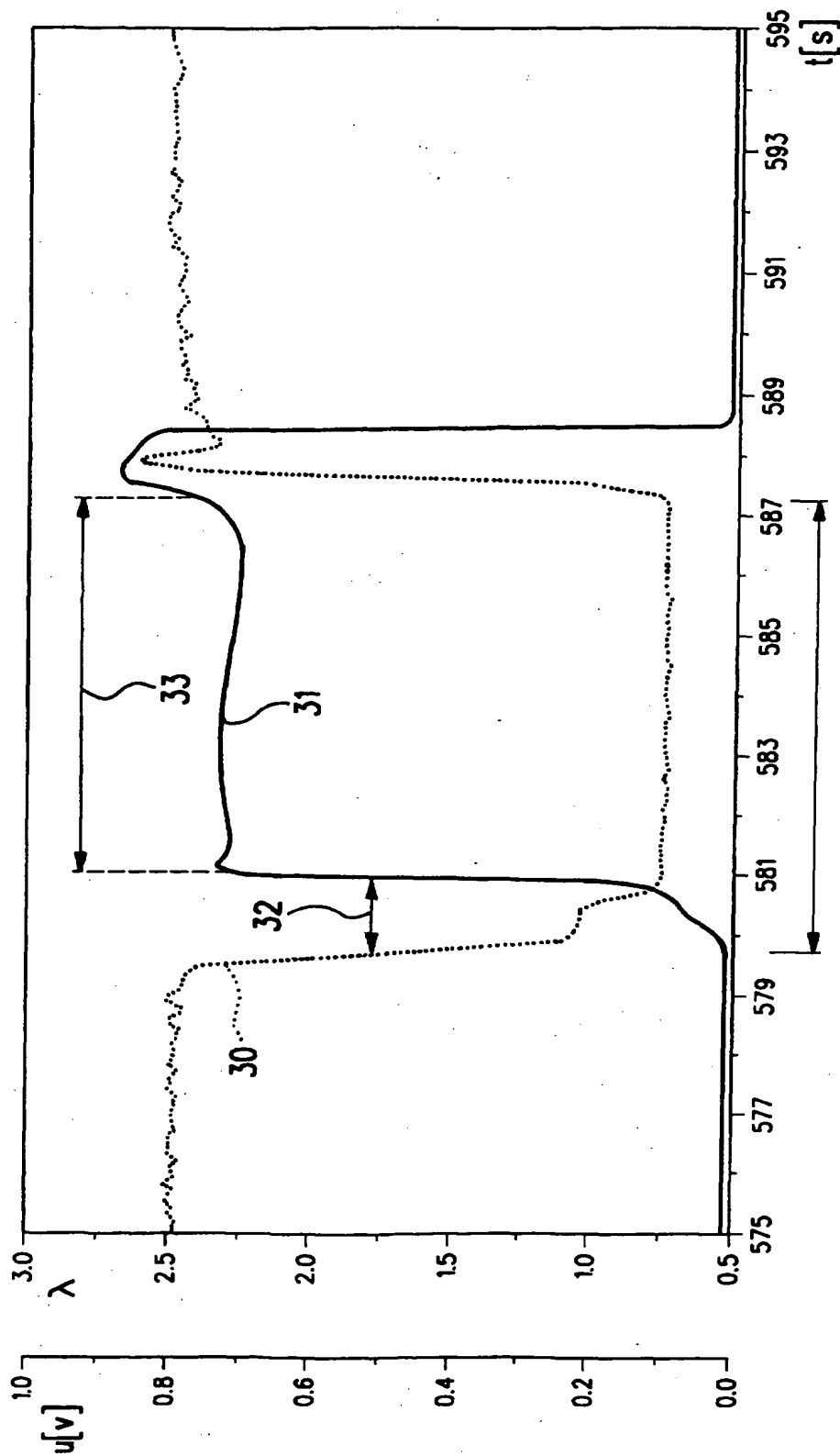


Fig. 2